干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

doi:10.12118/j.issn.1000-6060.2018.05.14

新疆孔雀河北岸72～51 ka BP湖相沉积物的孢粉植物群初步研究①

白友良， 赵振华， 孙 琦， 李 博
（西北核技术研究所，陕西 西安 710024）

摘 要：对新疆孔雀河北缘的LX02剖面湖相沉积物开展了OSL测年和孢粉记录研究。结果显示：该剖面湖相沉积自72.4 ka BP延续到51.0 ka BP。这一期间，研究区为针叶、阔叶混交林植被，林下生长灌木和草本，低洼潮湿的地方生长蕨类孢子和藻类。植被的主要类型有松(*Pinus*)、栎(*Quercus*)、栗(*Castanea*)、榛(*Corylus*)、莎草(*Cyperaceae*)、蒿(*Artemisia*)、藜(Chenopodiaceae)、水龙骨科(Polypodiaceae)等，同时还含有少量的山核桃(*Carya*)和枫杨(*Pterocarya*)等亚热带的孑遗植物花粉。具体来说，组合带Ⅰ(72.4～66.8 ka BP)、Ⅲ(56.1～51.0 ka BP)对应的沉积期间，研究区阔叶树花粉含量低而灌木和草本花粉含量高；组合带Ⅱ(66.8～56.1 ka BP)对应的沉积期阔叶树花粉含量都较高，而灌木和草本花粉相对较低，揭示72.4～51.0 ka BP研究区气候总体上呈现冷干—暖湿的气候波动特征。这与粘土矿物和地球化学特征所反映的古气候特征及其变化一致，亦与柴达木盆地东部介形类丰度特征研究、柴达木盆地东部古湖泊高湖面光释光年代学研究、北京平原区有机碳同位素研究等结果吻合较好，然而，这一气候变化规律的内部驱动机制还有待进一步的深入研究。

关 键 词：晚更新世；孢粉；冷干—暖湿气候；孔雀河；新疆东部
中图分类号：P512.2 **文献标识码**：A **文章编号**：

伴随晚新生代印度板块持续推挤亚洲板块和全球显著降温，我国内陆新疆地区因山地强烈隆升和丰富的沉积记录受到广大地学工作者越来越多的关注[1-4]。在构造尺度上，新疆地区的古环境重建通常通过磁性地层定年建立年代地层框架[5-8]。全新世以来新疆地区的环境研究工作多集中于考古[9-11]和水资源调查[12-15]。位于新疆东南部的塔里木盆地东部地区，第四纪研究很不平衡。赵振宏等[16]、林景星等[17]、王永等[18]、闫顺等[19]的研究揭示了该地区第四纪的气候与环境演化，但分辨率较低。罗超等[20]、贾红娟等[21]研究了晚更新世晚期以来的气候与环境演化。相比之下，塔里木盆地东部地区晚更新世早中期的较高分辨率的记录相对较少，这在很大程度上制约了晚更新世早中期全球气候变化在该地区响应的分析研究工作。

此外，塔里木盆地东部地区更新世以来的气候演化历史研究还存在明显的分歧。罗超等[22-24]和LUO等[25]通过对罗布泊CK-2钻孔湖相沉积物多指标研究显示，新疆东部气候与环境的变化与北半球高纬度紧密关联，呈现冷湿和暖干的气候特征。这样的气候特征在新疆乃至西北其他地区[26-28]也有较好的显示。但是，在7.0～6.0 ka BP期间，塔里木盆地东部台特玛湖地区出现了相对暖湿的环境特征[29]。同样，光释光和^{14}C年代学研究显示，罗布泊盐湖北岸和东岸普遍发育的三级湖积台地分别形成于90～130 ka BP，30 ka BP左右和7.0～7.5 ka BP，似乎在时间上对应深海氧同位素第5阶段、第3阶段及全新世大暖期，进而反映暖期湿度大、湖面高的气候演化模式[30]。那么，塔里木盆地东部在更新世到底受冷湿—暖干的气候模式主宰还是受暖湿—冷干的气候模式主宰尚不清楚[31]。鉴于此，本文选择新疆东部孔雀河北缘出露较好的LX02剖面为目标剖面，自下而上采集6个光释光年龄样品以期建立年代框架。同时，采集了相应具代表性的孢粉样

① 收稿日期：2018-04-10； 修订日期：2018-07-22
作者简介：白友良(1980-)，男，甘肃兰州，硕士，工程师，第四纪地质学专业. E-mail：baiyouliang008@126.com

品,以期通过孢粉植物群特征探讨该区的气候环境演化。

1　地质地理背景及样品采集

研究区位于塔里木盆地内孔雀河断裂和阿尔金断裂的交汇区域。上述两组断裂走滑作用下形成了洼地[32]。洼地夹持于库鲁克塔格断隆和阿尔金断隆之间,西与英吉苏凹陷相依,东与北山断块相接,为典型的封闭内陆干盐湖,面积约 1.0×10^5 km^2。受区域大环境制约,洼地具有降水量小、蒸发量高、温差大及风力强等典型的大陆干旱气候特征。区内多大风,以 NE 和 NEE 向为主。常见的地貌形态有沙漠、雅丹和谷地。沙漠以位于洼地东南的库木塔格沙漠为主。洼地北部、东部和西部分布着面积在 3.0×10^3 km^2 左右的雅丹地貌,主要有孔雀河下游雅丹、白龙堆雅丹、三垅沙附近雅丹,以及阿奇克谷地零星分布的雅丹。阿奇克谷地呈 NE-SW 向位于洼地东部。就地貌类型而言,研究区位于洼地西北缘的孔雀河下游的雅丹地貌区,隶属于湖相沉积平原。由于受到后期库鲁克塔格断隆构造的抬升作用,该地区形成数级湖积台地。LX02 剖面位于湖积台地上,海拔约 813 m,其位置如图 1 所示。

LX02 剖面位于新疆尉犁县塔里木乡,其坐标为(89°55′E,40°40′N),厚度为 5.4 m(图 2)。剖面共

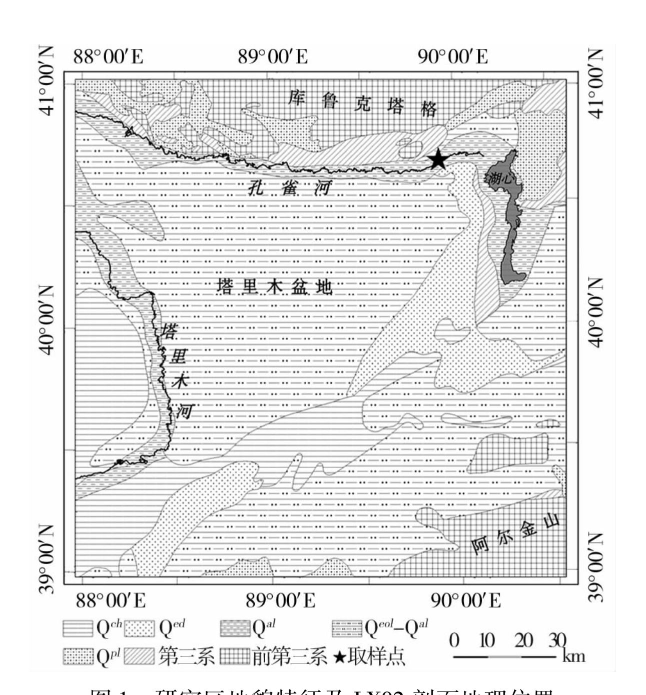


图 1　研究区地貌特征及 LX02 剖面地理位置

Fig. 1　Geomorphology of the study area and location of the study section

LX02剖面柱状图

层位	厚度/cm	岩性描述
1	27	土黄色粘土、亚粘土层含盐量较高,含粉细砂,沉积组分与盐和有机质关系密切,为滨湖相沉积
2	14	细砂层,含云母屑,发育层理,细砂层中有薄粘土层,薄层理由上到下从粘土层过滤到细砂层,为风积物
3	26	土黄色粘土层,较致密,内部含有呈褐色的有机物和呈浅灰绿色的含盐组分,结构中有不规则裂缝
4	31	细砂层,发育水平层理,层内有2 mm左右的盐碱颗粒
5	4	粘土、亚粘土层
6	26	细砂层,层顶2~3 cm处含粒径为2~3 mm砾石,磨圆度一般。层底4 mm处出现盐碱亮,表面有高度1 cm的瘤状突起
7	43	粘土、亚粘土层,该层在148 cm处出现厚约2 cm的薄层细砂。薄层细砂向下粒度逐渐向粘土过渡,层理明显;164 cm、168 cm处分别夹有约2 mm、1 mm的细砂薄层
8	23	细砂层,层内有垂直裂隙,裂隙中充填粘土。183 cm处发现现粒径约2 mm的盐碱颗粒
9	126	粘土、亚粘土层,顶部有5 mm的盐威壳,层中夹有厚约2 mm~1.5 cm不等的薄层细砂,以及少量细砂透镜体
10	18	粘土层与细砂层互层,其中细砂层占主导,粘土层较薄。324 cm处细砂层含砾
11	6	粘土、亚粘土层,342 cm处有厚约2 mm的细砂层,细砂层顶底面的接触面上有液痕。344 cm处有厚约2–5 mm的细砂层
12	15	粉砂层,354cm处含有盐碱颗粒,向下有增多的趋势。
13	40	粘土、亚粘土层。375 cm处含盐量较高,在粘土裂隙中局部含有亍碱颗粒;391 cm处出现厚约1 cm的细砂层,其顶部有层厚约2 cm的亍碱壳
14	93	细砂层,出现盐碱颗粒,无明显层理,474~479 cm为盐碱壳,中间的层面可见波痕;479~492 cm细砂层。在487 cm处出现一层厚约5 mm的盐碱壳,表现有瘤状突起。盐碱壳向下为约5 mm的粉大海 层,层中夹有不规则泥块
15	49	粘土层,中间夹有多层盐碱壳和细砂层,529 cm、541 cm处的薄粉砂层含粒径为1 mm左右的砂;511~541 cm段含有零星的粒径为3 mm的黑色砾石

深度/cm: 0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550

1、波痕;2、化学沉积;3、细砂;4、粉砂;5、粘土、亚粘土;6、细砂粘土互层;7、年代取样点

图 2　剖面柱状图

Fig. 2　Histogram of the profile

分为 15 个自然沉积层,自上而下可划分为三个单元:(1) 0 ~ 1.28 m,其中 0 ~ 0.67 m 为土黄色粉质亚粘土层,0.67 ~ 1.28 m 为浅灰绿色粉砂质亚粘土,0.18 m、1.19 m 处采集光释光年代样。(2) 1.28 ~ 4.25 m 为土黄色粉质亚粘土层,夹薄层粉质亚砂土、粉砂土,2.21 m、3.10 m 和 3.71 m 处采集光释光年代样。(3) 4.25 ~ 5.41 m,其中 4.25 ~ 4.68 m为浅灰色、浅灰绿色砂土层,4.68 ~ 5.41 m 为土黄色粉质亚粘土层,夹薄层粉砂土,4.69 m 处采集光释光年代样。

2　实验方法

剖面中共获取 6 个光释光年代数据(表 1),系中国地震局地震动力学国家重点实验室测试。各年龄数据点的位置分别为距顶部 0.18 m、1.19 m、2.21 m、3.10 m、3.71 m、4.69 m 处(图 2)。经数据

表 1　LX02 剖面地层深度与光释光年龄关系

Tab. 1　Relationship between the depth of LX02 profile and the age of OSL

深度/m	0.18	1.19	2.21	3.10	3.71	4.69
年代/ ka BP	53.1 ±4.4	56.1 ±3.2	57.9 ±3.3	60.5 ±4.0	67.0 ±6.0	71.0 ±3.6

处理得出年龄与土样深度的回归方程为 $Y = 3.950X + 51.007$，相关系数 $R^2 = 0.9087$，相关性很好（图 3）。据此，剖面年龄通过线性内插获得。根据沉积速率推算，剖面顶和底的年龄分别是 72.4 ka BP 和 51.0 ka BP。

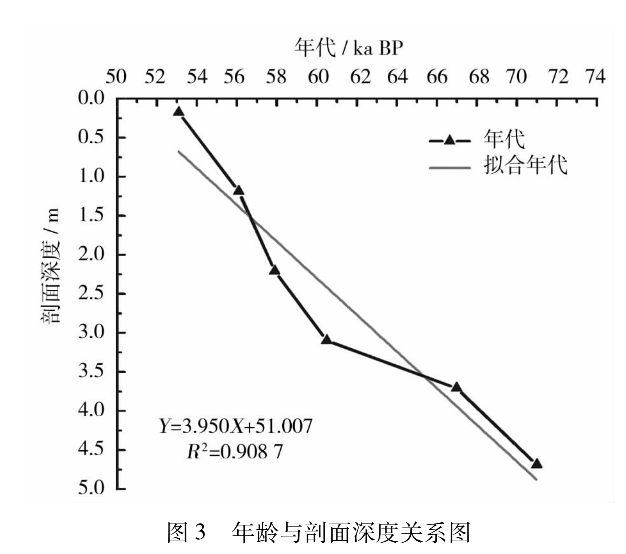


图 3　年龄与剖面深度关系图

Fig. 3　Age versus stratigraphic thickness of the LX02 section

对研究剖面（厚度为 540 cm）自上而下以 1.5 ~ 15 cm 不等的间距采集了 80 块孢粉样品，以期揭示该剖面典型沉积期孢粉植物群特征。样品的分析鉴定在中国地震局地质研究所地震动力学国家重点实验室完成。每个样品称重 100 g，运用最近发表的孢粉分析流程[33]，包括碎样、15% 的 HCl 去碳酸盐、3% 的 NaOH 去有机质、85 ℃下烘干 7 ~ 8 h 去水分、KI 重液（比重 1.74 ~ 1.76）分离孢粉颗粒、HF（40%）去除少量硅质碎屑颗粒、HCl（15%）去除新产生的氟化钙、镜检和必要的过筛（7 μm）。分析好的标本加上少许甘油在显微镜下鉴定和统计。

3　孢粉植物群特征

在 80 件样品中经鉴定统计到 13 541 粒孢子花粉，样品中花粉数为 115 ~ 301 粒，它们分属 47 个孢子花粉类型。孢粉组合以乔木花粉占优势，含量为 18.91% ~ 91.03%（平均 58.20%）。其次是灌木和草本植物花粉，含量为 8.97% ~ 60.12%（平均 35.02%）。蕨类孢子和藻类含量相对较少，其含量为 0% ~ 13.64%（平均含量为 6.78%）。乔木植物花粉以松（*Pinus*）、栎（*Quercus*）、栗（*Castanea*）为主，其它少量或零星出现的有云杉（*Picea*）、桦（*Betula*）、胡桃（*Juglans*）、榆（*Ulmus*）、山核桃（*Carya*）、桤木（*Alnus*）、冷杉（*Abies*）、铁杉（*Tsuga*）、柏科（Cupressaceae）、雪松（*Cedrus*）、椴（*Tilia*）、枫杨（*Pterocarya*）、槭属（*Acer*）等。灌木和草本植物花粉主要有榛（*Corylus*）、麻黄（*Ephedra*）、蒿属（*Artemisia*）、莎草科（Cyperaceae）、藜科（Chenopodiaceae）、禾本科（Gramineae）、杜鹃科（Ericaceae）、忍冬科（Caprifoliaceae）、蓼科（Polygonaceae）、蔷薇科（Rosaceae）、胡颓子科（Elaeagnaceae）、白刺属（*Nitraria*）、菊科（Compositae）、豆科（Leguminosae）、葎草属（*Humulus*）、毛茛科（Ranunculaceae）、唐松草（*Thalictrum*）、百合科（Liliaceae）、唇形科（Labiatae）、凤仙花属（*Impatiens*）、石竹科（Caryophyllaceae）、伞形科（Umbelliferae）、香蒲（*Typha*）、狐尾藻属（*Myriophyllum*）等。蕨类植物孢子和藻类主要为水龙骨科（Polypodiaceae）、卷柏（*Selaginella*）、石松属（*Lycopodium*）、盘星藻（*Pediastrum*）、环纹藻（*Concentricystis*）等。

蒿属和藜科具有超代表性，当花粉组合中出现少量的蒿属和藜科时，应视为外来花粉，而当它们含量占 30% 时，说明当地存在蒿属和藜科[34]。由于本组合中蒿属含量最高仅为 13.46%，藜科含量最高仅为 6.87%，据此，可以判断研究区可能不存在蒿属和藜科。松树花粉因具气囊、传播距离远、产量高和容易保持的特点，20% ~ 30% 含量的松属花粉才能指示当地有松林[34-36]。由于本组合中松树花粉含量基本都高于 20%，最高达到 53.23%，指示当地有松树分布。许多地区在不同地质时期松粉含量增加指示气温下降[37]。因此，本研究中我们采用松粉含量变化指示研究区温度的变化。

此外，由于温带地区阔叶树生长所需要的温湿条件整体优于灌木和草本，在本次研究中采用阔叶树花粉（Broadleaved Tree Pollen，简化为 B. T. P.）与灌木、草本花粉含量之和（Shrub pollen + Herb pollen，简化为 S. P. + H. P.）的比值 B. T. P. /（S. P. +

H. P.)来指示研究区温湿条件的变化。下面依据主要孢粉类型含量变化和B. T. P./(S. P. +H. P.)将该剖面的孢粉组合划分为三个带(图4),下文依次予以介绍。

3.1 组合带Ⅰ(72.4~66.8 ka BP)

本组合木本植物花粉含量为54.39% ~73.78%,主要由松(28.24% ~48.78%)、栎(4.58% ~13.04%)、栗(2.61% ~7.69%)、榆(1.23% ~6.87%)组成,还有少量的铁杉、胡桃、桦、桤木、云杉、冷杉、柏科、雪松、杉科、枫杨、山核桃、槭、椴等,其中阔叶树花粉含量为16.79% ~25.87%,针叶树花粉含量为30.99% ~52.44%。灌木和草本植物花粉含量为21.34% ~38.93%,主要由榛(3.48% ~10.76%)、莎草科(4.20% ~17.54%)、蒿属(1.83% ~10.18%)、藜科(0.63% ~6.87%)、禾本科(0~7.69%)组成,还有少量的麻黄、杜鹃科、忍冬科、蓼科、蔷薇科、胡颓子科、白刺属、菊科、豆科、葎草属、毛茛科、唐松草、百合科、唇形科、凤仙花属、石竹科、伞形科、香蒲、狐尾藻属等。蕨类孢子和藻类含量较少,为2.29% ~9.49%,主要由水龙骨科(0~4.09%)组成,还有少量的盘星藻、卷柏、石松属、环纹藻等。

该组合以木本植物花粉含量高、灌木和草本花粉及蕨类和藻类含量低为特征(图4)。其中,针叶树花粉含量最高(38.31%),阔叶树花粉含量最低(22.22%),基本不含山核桃,百合科零星出现。显示研究区为针叶、阔叶混交林植被,林下及附近地区生长灌木和草本,低洼湿润的地方生长蕨类和藻类,植被波动较为稳定,气候为冷干。附近的山坡及高地气候相对干燥以至于喜干旱的麻黄得到少量发展。本组合B. T. P./(S. P. +H. P.)的比值变化于0.48~1.00,平均0.69。

3.2 组合带Ⅱ(66.8~56.1 ka BP)

本组合木本植物花粉含量为35.26% ~91.03%,主要由松(3.65% ~53.23%)、栎(5.04% ~84.72%)、栗(0.62% ~65.57%)、榆(0~6.72%)组成,并还有少量的铁杉、胡桃、桦、桤木、云杉、冷杉、柏科、雪松、杉科、枫杨、山核桃、槭、椴等。其中阔叶树花粉含量为9.25% ~87.38%,针叶树花粉含量为3.65% ~55.65%。孢粉组合中灌木和草本植物花粉含量为8.97% ~60.12%,主要由榛(2.76% ~11.76%)、莎草科(2.31% ~19.50%)、蒿属(0.55% ~13.46%)、藜科(0~6.95%)、麻黄(0~42.77%)、禾本科(0~6.79%)组成,还有少量的杜鹃科、忍冬科、蓼科、蔷薇科、胡颓子科、白刺属、菊科、豆科、葎草属、毛茛科、唐松草、百合科、唇形科、凤仙花属、石竹科、伞形科、香蒲、狐尾藻属等。蕨类和藻类含量较少,为0~11.76%,主要由水龙骨科(0~7.45%)组成,还有少量的盘星藻、卷柏、石松属、环纹藻等。

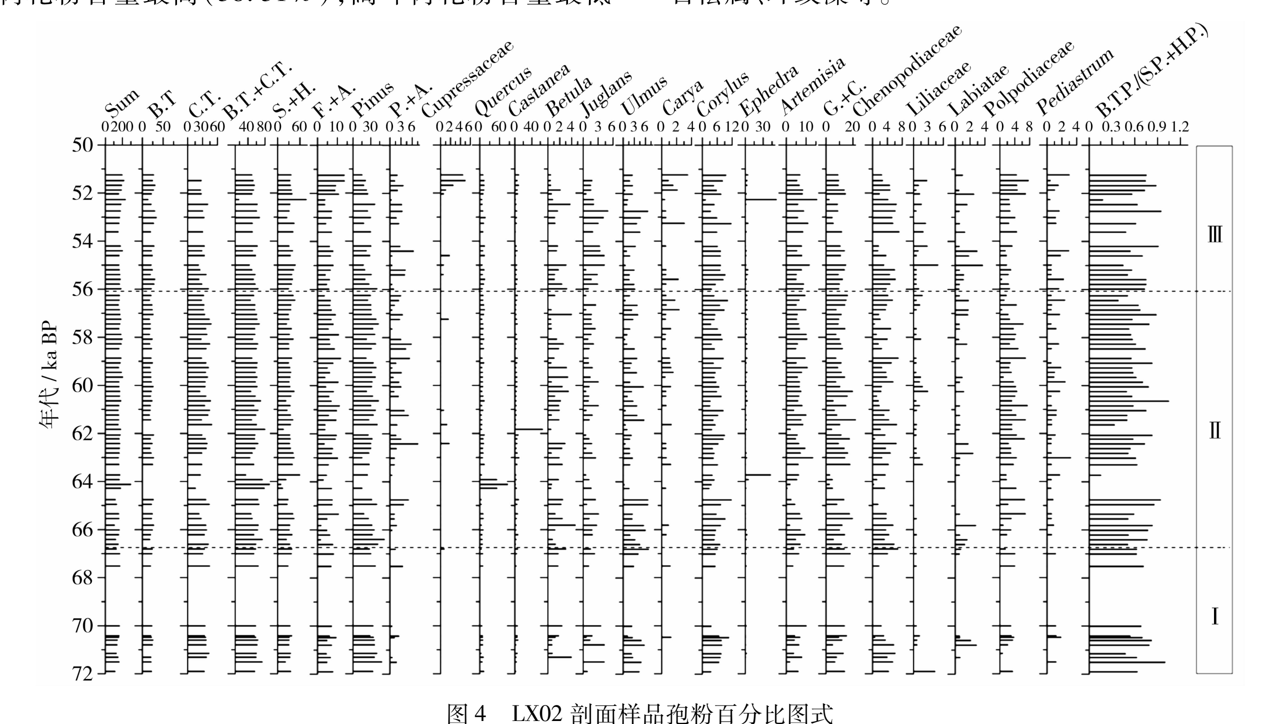


图4 LX02剖面样品孢粉百分比图式

Fig. 4 Spore and pollen percentage diagram of the LX02 profile

与组合带Ⅰ相比,本组合以木本植物花粉含量降低、灌木和草本花粉及蕨类和藻类含量增加为特征(图4)。其中阔叶树花粉含量明显增加(平均25.61%)而针叶花粉含量明显有所降低(平均33.94%)。山核桃和百合科稳定出现。总体上,本组合仍反映了针叶、阔叶混交林植被景观,但植被波动明显,较上一时期气温升高,湿度增加,为温暖湿润气候。本组合 B. T. P./(S. P. +H. P.)的比值变化于0.15~9.74,平均1.03。

3.3 组合带Ⅲ(56.1~51.0 ka BP)

本组合木本植物花粉含量为18.91%~64.17%,主要由松(4.62%~40.64%)、栎(7.14%~15.73%)、栗(1.31%~9.55%)、榆(0.53%~6.70%)、桦(0~3.76%)组成,还有少量的铁杉、胡桃、桤木、云杉、冷杉、柏科、雪松、杉科、枫杨、山核桃、槭、椴等。其中阔叶树花粉含量为13.87%~30.93%,针叶树花粉含量为5.04%~42.25%。孢粉组合中灌木和草本植物花粉含量为25.29%~77.31%,主要由榛(1.26%~11.66%)、莎草科(2.52%~13.17%)、蒿属(5.06%~15.55%)、藜科(1.48%~7.19%)、麻黄(0~52.52%)、禾本科(0~3.93%)组成,还有少量的杜鹃科、忍冬科、蓼科、蔷薇科、胡颓子科、白刺属、菊科、豆科、葎草属、毛茛科、唐松草、百合科、唇形科、凤仙花属、石竹科、伞形科、香蒲、狐尾藻属等。蕨类孢子和藻类含量较少,为3.76%~13.64%,主要由水龙骨科(0.56%~7.73%)、蕨类孢子(0~4.32%)组成,还有少量的盘星藻、卷柏、石松属、环纹藻等。

与组合带Ⅱ相比,本组合以木本植物花粉含量持续下降,而灌木和草本花粉含量及蕨类和藻类含量增加为特征(图4),其中阔叶植物花粉含量(平均25.11%)、针叶植物花粉含量(平均28.47%)均降低。总体上,本组合仍反映针叶、阔叶混交林植被景观,但植被波动明显,且木本植物花粉减少而灌木和草本花粉增加所反映的温湿条件恶化,胜于松花粉含量降低所反映的温度升高,因此,该阶段较上一时期气温、湿度均降低。本组合 B. T. P./(S. P. +H. P.)的比值变化于0.18~1.35,平均0.69。

4 讨 论

通过孢粉植物群研究,发现罗布泊西北缘72.4~51.0 ka BP 期间研究区植物类型丰富,为针叶、阔叶混交林植被景观。同时还含有少量的山核桃及枫杨等亚热带的孑遗植物花粉。揭示罗布泊西北缘72.4~51.0 ka BP 期间气候环境相对温凉湿润,湖相沉积得到了较好的发展。闫顺等[19]曾在罗布泊地区早更新世孢粉组合中发现较多的阔叶落叶树种,总量(针阔叶花粉合计)最高达40%以上,认为这是森林的显示,并指出这种情况在新疆平原地区第四纪中属首次发现,具重要意义。LX02剖面绝大多数样品的针阔叶花粉总量在50%以上,最高达到91.03%,平均为58.20%,所揭示的植被类型和气候类似于闫顺等[19]通过孢粉组合揭示的罗布泊地区早更新世温暖湿润气候特征,且优于当时的气候。具体来说,组合带Ⅰ(72.4~66.8 ka BP)、Ⅲ(56.1~51.0 ka BP)对应的沉积期间,研究区阔叶树花粉含量低而灌木和草本花粉含量高,使得 B. T. P./(S. P. +H. P.)的比值一致偏低。相比之下,组合带Ⅱ(66.8~56.1 ka BP)对应的沉积期阔叶树花粉含量都较高,而灌木和草本花粉含量相对较低,使得B. T. P./(S. P. +H. P.)的比值增大。这些变化表明,晚更新世中期研究区气候与环境在总体温凉湿润的背景下呈现小幅干湿和冷暖波动,组合带Ⅰ和Ⅲ呈现冷干气候,而组合带Ⅱ呈现暖湿气候。

本次研究的孢粉记录变化特征与其它研究可以进行较好的对比。具体讲,组合带Ⅰ(72.4~66.8 ka BP),沉积物中 Al、K、Ti、Fe、Ca、Mg 元素含量和烧失量较低,反映了湖水注入少、温度低等气候冷干的信息;Fe/Mn、Rb/Sr、(Fe+A1+Mn)/(K+Ca+Mg)、*CIA*、*C* 值较低,而 *Sa*、*Saf* 值较高,反映了该时段风化作用较弱,形成于冷干的气候条件[38]。沉积物中伊利石和绿泥石含量之和以及绿泥石含量较高,高岭石平均值较低(一个样品除外),伊蒙混层含量较低,亦指示该时段为冷干气候环境[39]。倪志云等[40]通过北京平原区有机碳同位素研究认为76~67 ka BP 为较干冷的气候,且间冰期到冰期是突变的过渡形式,属于气候的转型期,这一过程也是突然地降温事件。景民昌等[41]通过柴达木盆地东部参1井中两种主要介形类(*Ilyocyprisinermis* 和 *Cyprideistorosa*)的丰度特征研究,认为末次冰期早冰阶早期,即75~69 ka,介形类丰度很低,指示气候寒冷,不适宜生物发育。这与孢粉指标指示的气候相吻合。组合带Ⅱ(66.8~56.1 ka BP),沉积物中 Al、K、Ti、Fe、Ca、Mg 元素含量和烧失量均增加,反映了温度的增高、生物发育,蒸发量加大、水体浓缩等气

候温暖的信息;Fe/Mn、Rb/Sr、(Fe + A1 + Mn)/(K + Ca + Mg)、*CIA*、*C* 值明显增加,而 *Sa*、*Saf* 值明显降低,反映了该时段风化作用较强,形成于温暖湿润的气候条件[38]。沉积物中伊利石和绿泥石含量之和剖面最低,同时绿泥石含量亦最低,高岭石、伊蒙混层含量较高,指示暖湿气候[39]。这与倪志云等[40]通过北京平原区有机碳同位素研究的 67～56 ka BP δ^{13}Corg 稳定且保持相对上升趋势,平均值达到 -22.48‰,表明气温回升,以及 YANG 等[42]研究的北京地区 MIS4 阶段晚期冬季风减弱气候温和的特征相吻合。樊启顺等[43]通过对柴达木盆地东部古湖泊高湖面光释光年代学研究,认为尕海湖古高湖面出现在 82～73 ka、63～55 ka、55 ka,高湖面指示区域的温暖湿润气候。景民昌等[41]通过柴达木盆地东部介形类丰度特征研究,认为 69 ka 之后,介形类丰度经过两次高低波动,至 57 ka 左右过渡进入间冰阶,指示该阶段气候较上阶段稍暖。这与孢粉指标指示的气候特征相一致。组合带Ⅲ(56.1～51.0 ka BP),沉积物中 Al、K、Ti、Fe、Mg 元素含量和烧失量均减少,反映了湖水注入少、温度低等气候冷干的环境信息;Fe/Mn、Rb/Sr、(Fe + A1 + Mn)/(K + Ca + Mg)、*CIA*、*C* 值略有降低,而 *Sa*、*Saf* 值明显增加,反映了该时段风化作用较弱,形成于较冷干的气候条件[38]。沉积物中伊利石和绿泥石含量之和增大,同时绿泥石含量亦增大,高岭石、伊蒙混层含量较低,指示较冷干的气候条件[39]。这与倪志云等[40]通过北京平原区有机碳同位素研究的 56～48 ka BP δ^{13}Corg 波动幅度较小、粒度曲线上细粒含量较少,气候干冷,以及 CHEN 等[44]对黄土高原的研究结果一致。而景民昌等[41]通过柴达木盆地东部介形类丰度特征研究,认为 57～32 ka 为弱暖期。这与前人研究成果中该时段内我国北方气候变化趋势一致。

从另一方面来看,塔里木盆地东部地区更新世以来的气候演化历史研究还存在明显的分歧。主要表现在:冷湿和暖干的气候模式与冷干和暖湿的气候模式并存,其驱动因子与相应机制还有待进一步研究;此外,YAN Shun 等[45]通过对罗布泊湖盆 K1 孔 100.2 m 沉积剖面的研究认为:晚更新世以来,主要受干旱气候控制,植被以荒漠为主,在盛冰期为荒漠草原。这与本研究成果不相符,究其原因,是否与罗布泊所在区域存在小范围的植被类型突变有关,还有待进一步研究。

5 结 论

本文通过对新疆孔雀河北缘 LX02 剖面湖相沉积物开展 OSL 测年和孢粉记录研究,分析了研究区古气候演化特征,并初步探讨了研究区在 72.4～51.0 ka BP 的气候演化模式。主要结论如下:

(1) 用阔叶树花粉与灌木、草本花粉含量之和的比值 B. T. P./(S. P. + H. P.)来指示研究区温湿条件的变化取得了良好的效果,可作为孢粉分析的重要方法开展干旱区气候与环境演化研究。

(2) 研究区针阔叶花粉总量在 50% 以上,最高达到 91.03%,平均为 58.20%,所揭示的植被类型和气候类似于罗布泊地区早更新世温暖湿润气候特征,且优于当时的气候。因此,一方面,晚更新世以来,罗布泊地区,特别是研究区所处的环境受干旱气候控制的论断是不充分的;另一方面,罗布泊地区的气候与环境变化呈现冷干 - 暖湿的波动特征,且并不呈现向干旱化转变的趋势,至少在 51.0 ka BP 还未出现干旱化。

(3) 研究区在 72.4～51.0 ka BP 期间,气候与环境可划分为三个阶段:72.4～66.8 ka BP 呈现冷干气候;66.8～56.1 ka BP 呈现暖湿气候;56.1～51.0 ka BP 呈现较冷干气候。该气候阶段的划分及每个阶段呈现的气候特征与地球化学、粘土矿物所揭示的有很好的相关性,更好的佐证了本次研究成果的合理性。同时,与柴达木盆地、北京平原区、黄土高原等区域的可对比性,也表明了该研究成果具有一定得区域性。此外,这期间气候以暖湿 - 冷干变化模式为主,且罗布泊地区的古气候演化并非简单的遵循某种气候变化模式,不同的气候系统在不同的地质历史时期对区域气候环境变化都有重要的影响,但气候变化规律的内部驱动机制还有待进一步深入研究。

(4) 本研究环境代用指标的时间分辨率明显高于前人研究成果,这为 72.4～51.0 ka BP 罗布泊及周边区域气候与环境演化对比研究打下了良好的基础。

参考文献(References)

[1] 孙继敏,朱日祥. 天山北麓晚新生代沉积及其新构造与古环境指示意义[J]. 第四纪研究,2006,26(1):14 - 19. [SUN Jimin, ZHU Rixiang. Cenozoic deposits in the northern Tianshan Mountains and its implications for neotectonics and environmental chan-

ges[J]. Quaternary Sciences,2006,26(1):14－19.]

[2] 李有利,司苏沛,吕胜华,等. 构造运动和气候变化对天山北麓奎屯河阶地发育的影响作用[J]. 第四纪研究,2012,32(5):880－890.[LI Youli,SI Supei,LV Shenghua,et al. Tectonic and climatic controls on the development of the Kuitun River terraces in the northern piedmont of Tianshan Mountains[J]. Quaternary Sciences,2012,32(5):880－890.]

[3] 吕红华,李有利. 天山北麓活动背斜带的变形特征[J]. 第四纪研究,2010,30(5):1003－1011.[LV Honghua,LI Youli. Tectonic deformation of active fault-related fold belts in the north piedmont of the central Tianshan Mountains,NW China[J]. Quaternary Sciences,2010,30(5):1003－1011.]

[4] 杨海军,李曰俊,师骏,等. 南天山晚新生代褶皱冲断带构造特征. 第四纪研究,2010,30(5):1030－1043.[YANG Haijun,LI Yuejun,SHI Jun,et al. Tectonic characteristics of the Late Cenozoic south Tianshan fold-thrust belt[J]. Quaternary Sciences,2010,30(5):1030－1043.]

[5] TANG Zihua,DING Zhongli,WHITE Paul,et al. Late Cenozoic Central Asian drying inferred from a palynological record from the northern Tianshan[J]. Earth and Planetary Science Letters,2011,302(3/4):439－447.

[6] 陈杰,HEEMANCE R V,BURBANK D W,等. 中国西南天山西域砾岩的磁性地层年代与地质意义[J]. 第四纪研究,2007,27(4):576－587.[CHEN Jie,HEEMANCE R V,BURBANK D W,et al. Magnetochronology and its its implications of the Xiyu conglomerate in the southwestern Chinese Tianshan foreland[J]. Quaternary Sciences,2007,27(4):576－587.]

[7] 吕红华,李有利,刘运明,等. 新疆塔西河地区 8 Ma 以来沉积环境演化及其构造意义[J]. 第四纪研究,2008,28(2):243－252.[LV Honghua,LI Youli,LIU Yunming,et al. Sedimentary environment evolution since 8 Ma B. P. in the Taxihe area,Xinjiang,northwest China and its tectonic significance[J]. Quaternary Sciences,2008,28(2):243－252.]

[8] 陈杰,卢演俦,丁国瑜. 塔里木西缘晚新生代造山过程的记录－磨拉石建造及生长地层和生长不整合[J]. 第四纪研究,2001,21(6):528－539.[CHEN Jie,LU Yanchou,DING Guoyu. Records of Late Cenozoic mountain building in western Tarim Basin:molasses,growth strata and growth unconformity[J]. Quaternary Sciences,2001,21(6):528－539.]

[9] 马春梅,王富葆,曹琼英,等. 新疆罗布泊地区中世纪暖期及前后的气候与环境[J]. 科学通报,2008,53(16):1942－1952.[MA Chunmei,WANG Fubao,CAO Qiongying,et al. Climate and environment reconstruction during the Medieval Warm Period in Lop Nur of Xinjiang,China[J]. Chinese Science Bulletin,2008,53(16):1942－1952.]

[10] 吕厚远,夏训诚,刘嘉麒,等. 罗布泊新发现古城与 5 个考古遗址的年代学初步研究[J]. 科学通报,2010,55(3):237－245.[LV Houyuan,XIA Xuncheng,LIU Jiaqi,et al. A preliminary study of chronology for a newly-discovered ancient city and five archaeological sites in Lop Nor,China[J]. Chinese Science Bulletin,2010,55(3):237－245.]

[11] 赵克良,李小强,周新郢,等. 新疆新塔拉遗址农业活动特征及其影响的植物指标记录[J]. 第四纪研究,2012,32(2):219－225.[ZHAO Keliang,LI Xiaoqiang,ZHOU Xinying,et al. Characteristics of agricultural activities and its impact on the environment at Xintala site,Xinjiang,reconstructed from archaeological plant remains[J]. Quaternary Sciences,2012,32(2):219－225.]

[12] 李保国,马黎春,蒋平安,等. 罗布泊"大耳朵"干盐湖区地形特征与干涸时间讨论[J]. 科学通报,2008,53(3):327－334.[LI Baoguo,MA Lichun,JIANG Ping'an,et al. High precision topographic data on Lop Nor Basin Lake "Great Ear" and the timing of its becoming a dry salt lake[J]. Chinese Science Bulletin,2008,53(3):327－334.]

[13] 樊自立,艾里西尔·库尔班,徐海量,等. 塔里木河的变迁与罗布泊的演化[J]. 第四纪研究,2009,29(2):232－240.[FAN Zili,KURBAN Alishir,XU Hailiang,et al. Changes of Tarim River and evolution of Lop Nur[J]. Quaternary Sciences,2009,29(2):232－240.]

[14] 李忠勤,李开明,王林. 新疆冰川近期变化及其对水资源的影响研究[J]. 第四纪研究,2010,30(1):96－106.[LI Zhongqin,LI Kaiming,WANG Lin. Study on recent glacier changes and their impact on water resources in Xinjiang,North Western China[J]. Quaternary Sciences,2010,30(1):96－106.]

[15] 吴敬禄,曾海鳌,马龙,等. 新疆主要湖泊水资源及近期变化分析[J]. 第四纪研究,2012,32(1):142－150.[WU Jinglu,ZENG Haiao,MA Long,et al. Recent changes of selected lake water resources in arid Xinjiang,Northwestern China[J]. Quaternary Sciences,2012,32(1):142－150.]

[16] 赵振宏,侯光才,齐万秋,等. 浅谈新疆罗布泊地区第四纪下限[J]. 干旱区地理,2001,24(2):130－135.[ZHAO Zhenhong,HOU Guangcai,QI Wanqiu,et al. Discussion of the lower limit of Quaternary in Lop Nur,Xinjiang[J]. Arid Land Geography,2001,24(2):130－135.]

[17] 林景星,张静,剧远景,等. 罗布泊地区第四纪岩石地层、磁性地层和气候地层[J]. 地层学杂志,2005,29(4):317－322.[LIN Jingxing,ZHANG Jing,JU Yuanjing,et al. The lithostratigrapuy,magnetostratigraphy,and climatostratigraphy in the Lop Nur region,Xinjiang[J]. Journal of Stratigraphy,2005,29(4):317－322.]

[18] 王永,赵振宏,林景星. 罗布泊 AK1 孔沉积物地球化学组成与古气候[J]. 地球学报,2004,25(6):653－658.[WANG Yong,ZHAO Zhenhong,LIN Jingxing. Pleoclimate and geochemical composition of AK1 core sediments in Lop Nur,Xinjiang[J]. Acta Geoscientica Sinica,2004,25(6):653－658.]

[19] 闫顺,穆桂金,许英勤,等. 新疆罗布泊地区第四纪环境演变[J]. 地理学报,1998,53(4):332－340.[YAN Shun,MU Guijin,XU Yingqin,et al. Quaternary environmental evolution of the Lop Nur region,China[J]. Acta Geographica Sinica,1998,53(4):332－340.]

[20] 罗超. 新疆罗布泊地区末次冰期晚期的环境变化及其对全球变化的响应[D]. 合肥:中国科学技术大学,2008.[LUO Chao. The environmental change in Lop Nur,Xinjiang during late last glacial and response to global change[D]. Hefei:University of Science and Technology of China,2008.]

[21] 贾红娟,秦小光,刘嘉麒. 楼兰佛塔剖面 10.84 ka BP 以来的环境变迁[J]. 第四纪研究,2010,30(1):175－184.[JIA Hongjuan,QIN Xiaoguang,LIU Jiaqi. Environmental change of the past 10.84 ka in Loulan,Xinjiang[J]. Quaternary Sciences,2010,

30(1):175 - 184.]

[22] 罗超,杨东,彭子成,等.新疆罗布泊地区近3.2万年沉积物的气候环境记录[J].第四纪研究,2007,27(1):114 - 121.[LUO Chao,YANG Dong,PENG Zicheng,et al. Climatic and environmental records in the sediment of the Luobei Billabong in Lop-Nur,Xinjiang in recent 32 ka[J]. Quaternary Sciences,2007,27(1):114 - 121.]

[23] 罗超,彭子成,刘卫国,等.新仙女木事件在罗布泊湖相沉积物中的记录[J].地球科学 - 中国地质大学学报,2008,33(2):190 - 196.[LUO Chao,PENG Zicheng,LIU Weiguo,et al. Evidence from the lacustrine sediments of Lop-Nur Lake,northwest China for the Younger Dryas Event[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences,2008,33(2):190 - 196.]

[24] 罗超,刘卫国,彭子成,等.新疆罗北洼地湖相沉积物有机碳同位素的变化序列及其古环境意义[J].第四纪研究,2008,28(4):621 - 628.[LUO Chao,LIU Weiguo,PENG Zicheng,et al. Stable carbon isotope record of organic matter from the Lop-Nur lacustrine sediment in Xinjiang,northwest China[J]. Quaternary Sciences,2008,28(4):621 - 628.]

[25] LUO C,PENG Z C,YANG D,et al. A lacustrine record from Lop Nur,Xinjiang,China:Implications for paleoclimate change during Late Pleistocene[J]. Journal of Asian Earth Sciences,2009,34:38 - 45.

[26] 李吉均.中国西北地区晚更新世以来环境变迁模式[J].第四纪研究,1990,10(3):197 - 204.[LI Jijun. The patterns of environmental changes since Late Pleistocene in northwestern China[J]. Quaternary Sciences,1990,10(3):197 - 204.]

[27] 闫顺,李树峰,孔昭宸,等.乌鲁木齐东道海子剖面的孢粉分析及其反映的环境变化[J].第四纪研究,2004,24(4):463 - 468.[YAN Shun,LI Shufeng,KONG Zhaochen,et al. The pollen analyses and environment changes of the Dongdaohaizi area in Urumqi,Xinjiang[J]. Quaternary Sciences,2004,24(4):463 - 468.]

[28] 钟巍,舒强,熊黑钢.塔里木盆地南缘尼雅剖面的孢粉组合与环境[J].地理研究,2001,20(1):91 - 95.[ZHONG Wei,SHU Qiang,XIONG Heigang. Pollen assemblages of Niya section in southern Xinjiang and paleoenvironmental evolution[J]. Geographical Research,2001,20(1):91 - 95.]

[29] 钟巍,吐尔逊·克依木.塔里木盆地东部台特玛湖近25.0 ka BP以来的气候与环境变化[J].干旱区地理,2005,28(2):183 - 187.[ZHONG Wei,KEYIMU Tuerxun. Paleoclimatic and paleoenvironmental evolution since about 25 ka BP in the Taitema Lake area,south Xinjiang[J]. Arid Land Geography,2005,28(2):183 - 187.]

[30] 王富葆,马春梅,夏训诚,等.罗布泊地区自然环境演变及其对全球变化的响应[J].第四纪研究,2008,28(1):150 - 153.[WANG Fubao,MA Chunmei,XIA Xuncheng,et al. Environmental evolution in Lop Nur since Late Pleistocene and its response to the global changes[J]. Quaternary Sciences,2008,28(1):150 - 153.]

[31] 冯晓华,阎顺,倪健.基于孢粉的新疆全新世植被重建[J].第四纪研究,2012,32(2):304 - 317.[FENG Xiaohua,YAN Shun,NI Jian. Pollen-based reconstruction of vegetation in Xinjiang during the Holocene[J]. Quaternary Sciences,2012,32(2):304 - 317.]

[32] 夏训诚.中国罗布泊[M].北京:科学出版社,2007:20 - 54.[XIA Xuncheng. China Lop Nur[M]. Beijing:Science Press,2007:20 - 54.]

[33] XU Hongyan,JIANG Hanchao,MAI Xueshun,et al. A new processing method for the pollen samples from Palaeogene red beds in the Liguanqiao Basin,Hubei Province,and Pleistocene loess from the Chinese Loess Plateau[J]. Quaternary International,2013,286:45 - 55.

[34] PETERSON G M. Recent pollen spectra and zonal vegetation in the western USSR[J]. Quaternary Science Reviews,1983,2:281 - 321.

[35] WILLIS K J,SUMEGI P,BRAUN M ,et al. The late Quaternary environmental history of Batorliget,N. E. Hungary[J]. Palaeogeography,Palaeoclimatology,Palaeoecology,1995,118:25 - 47.

[36] SUN Xiangjun,SONG Changqing,WANG Fengyu,et al. Vegetation history of the Loess Plateau of China during the last 100,000 years based on pollen data[J]. Quaternary International,1997,37:25 - 36.

[37] JIANG Hanchao,MAO Xue,XU Hongyan,et al. Last glacial pollen record from Lanzhou (Northwestern China) and possible forcing mechanisms for the MIS3 climate change in Middle to East Asia[J]. Quaternary Science Reviews,2011,30:769 - 781.

[38] 白友良,王金荣,田坤,等.新疆孔雀河北岸72 - 51 ka BP湖相沉积物元素地球化学特征分析[J].干旱区地理,2016,39(3):477 - 485.[BAI Youliang,WANG Jinrong,TIAN Kun,et al. Element geochemistry characteristic from the 72 - 51 ka BP lake sediments in northern margin of Kongqi River,Xinjiang[J]. Arid Land Geography,2016,39(3):477 - 485.]

[39] 白友良,吴润江,闫长红,等.新疆孔雀河北岸72 - 51 ka BP湖相沉积物中粘土矿物特征[J].湖泊科学,2016,28(1):187 - 194.[BAI Youliang,WU Runjiang,YAN Changhong,et al. Characteristics of the clay mineralogy from the 72 - 51 ka BP lake sediments in the northern margin of the Peacock River,Xinjiang[J]. Journal of Lake Sciences,2016,28(1):187 - 194.]

[40] 倪志云,杨桂芳,黄俊华,等.北京平原区晚更新世以来有机碳同位素特征及其古环境意义[J].地球学报,2011,32(2):171 - 177.[NI Zhiyun,YANG Guifang,HUANG Junhua,et al. Organic carbon isotopic characteristics of Beijing Plain since Late Pleistocene and their paleoenvironmental implications[J]. Acta Geoscientica Sinica,2011,32(2):171 - 177.]

[41] 景民昌,杨革联,孙乃达.末次间冰期—末次冰期柴达木盆地东部气候演化形式.地球科学与环境学报,2004,26(3):83 - 87.[JING Minchang,YANG Gelian,SUN Naida. Study on the climatic changes between the last interglacial age and the last glacial age recorded by ostracoda in eastern Qaidam Basin[J]. Journal of Earth Sciences and Environment,2004,26(3):83 - 87.]

[42] YANG Guifang,GE Zhiliang,DAI Qing,et al. A grain-size record from Beijing region in northern China:Late Quaternary paleoclimate oscillation in response to global change[J]. Frontiers of Earth Science,2009,3(2):164 - 170.

[43] 樊启顺,赖忠平,刘向军,等.晚第四纪柴达木盆地东部古湖泊高湖面光释光年代学[J].地质学报,2010,84(11):1652 - 1660.[FAN Qishun,LAI Zhongping,LIU Xiangjun,et al. Lumi-

nescence chronology of high lake levels of paleolakes in the Late Quaternary eastern Qaidam Basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2010,84(11):1652 – 1660.]

[44] CHEN Fahu, RAO Zhiguo, ZHANG Jiawu, et al. Variations of organic carbon isotopic composition and its environmental significance during the last glacial on western Chinese Loess Plateau[J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51(13):1593 – 1602.

[45] YAN Shun, MU Guijin, XU Yingqin. Quaternary environmental evolution of the Lop Nur region, NW China [J]. Acta Micropalaeontol Sinica, 2000, 17(2):165 – 169.

Palynoflora of lacustrine sedimentation in the northern margin of the Kongqi River, Xinjiang from 72 – 51 ka BP

BAI You-liang, ZHAO Zhen-hua, SUN Qi, LI Bo

(*Northwest Institute of Nuclear Technology*, *Xi'an* 710024, *Shaanxi*, *China*)

Abstract: In this paper, the author chose LX02 section of the lake sedimentary with a thickness of 5.4 meters which located at the north margin of the Kongqi River in south Xinjiang, China, as the research object. From the top down to the bottom, six Optically Stimulated Luminescence (OSL) ages were achieved as follows 53.1 ±4.4 ka BP at 0.18 m, 56.1 ±3.2 ka BP at 1.19 m, 57.9 ±3.3 ka BP at 2.21 m, 60.5 ±4.0 ka BP at 3.10 m, 67.0 ±6.0 ka BP at 3.71 m, and 71.0 ±3.6 ka BP at 4.69 m. The chronology sequence of the LX02 section was established on 6 OSL age results from 72 ka BP to 51 ka BP. In the meanwhile, 80 pollen samples were analyzed and 13 541 grains of pollen and spores were identified (169 grains/sample on average). A total of 47 spore and pollen types were identified. On the whole, arboreal pollen taxa were dominant in most of the samples, ranging from 18.91% to 91.03% in abundance with an average of 58.20%. Shrubs and herbs were less dominant, fluctuating between 8.97% and 60.12% in abundance and averaging at 35.02%. Fern spores and algae ranged from 0.00% to 13.64% in content and had a mean of 6.78%. These indicated that, during the deposition of this section, the study area was generally covered continuously by coniferous and broadleaved forests, under which various shrubs and herbs grew vigorously. Ferns and algae mainly distributed in some low-lying humid places within the study area. The main vegetational types included *Pinus*, *Quercus*, *Castanea*, *Corylus*, Cyperaceae, *Artemisia*, Chenopodiaceae, and Polypodiaceae. There were also some *Carya* and *Pterocarya*, and these subtropical types occurred commonly with low and erratic percentages. Specifically, the palynoflora of section was divided into three stages according to the variation of major pollen type and B.T.P./(S.P. +H.P.): in zones Ⅰ(72.4 – 66.8 ka BP), Ⅲ(56.1 – 51.0 ka BP), the broadleaved arboreal pollen was always low in abundance while the shrub and herb pollen was usually high. In zone Ⅱ (66.8 ~ 56.1 ka BP), the broadleaved tree pollen was generally high and the shrub and herb pollen was low on the whole. This indicated the characteristics of climate fluctuate in the study area between dry-cold and humid-warm patterns during the Late-Pleistocene period. This mode of climate change in the study area is not only well correlated with the changes of weathering intensity revealed by the character of clay mineral and geochemistry, but also well matched with the Ostracoda abundance in upper well Dacan1 located in the southeast Qaidam Basin, Luminescence Chronology of High Lake levels of Paleolakes in the Late Quaternary eastern Qaidam Basin, Organic Carbon Isotopic characteristics of Beijing Plain. Nevertheless, the internal forcing mechanism for this mode of climate changes in the study area remains unclear up to now and deserves further investigation.

Key words: Late-Pleistocene; pollen; dry-cold and humid-warm climate; the Kongqi River; eastern Xinjiang